

MATERIA ORGANICA DEL SUELO

Oscar Eduardo Sanclemente Reyes



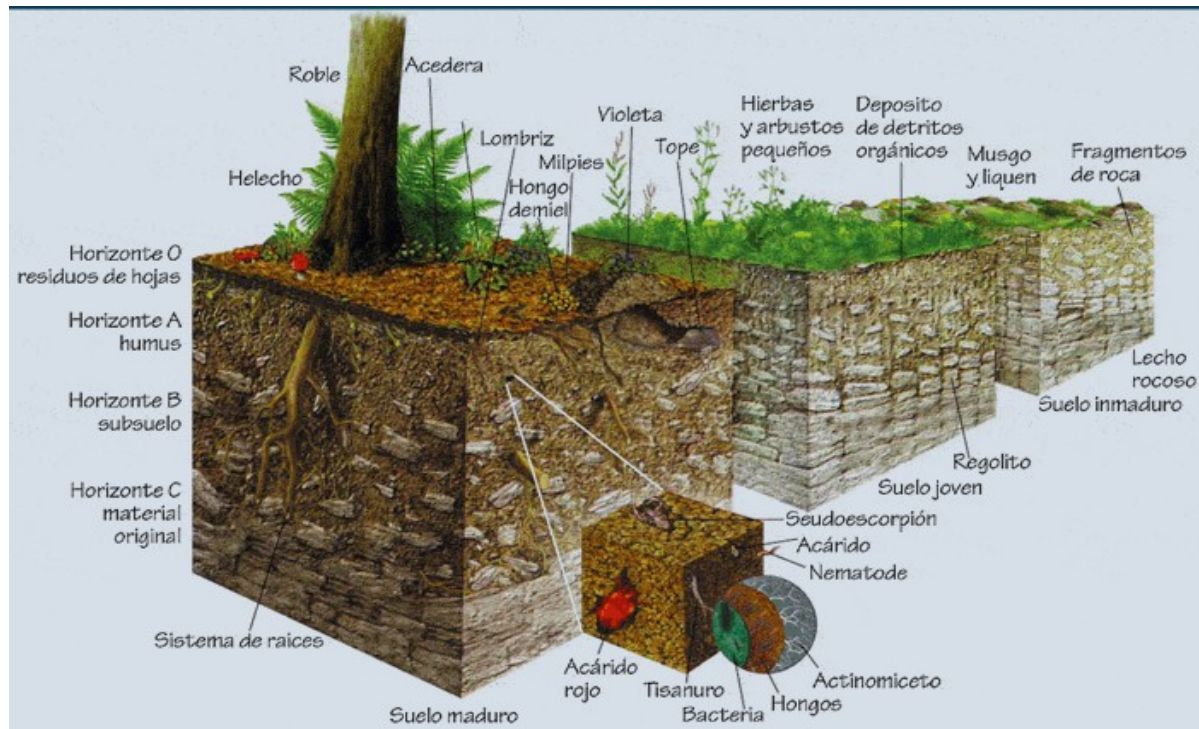
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA**

2012

Origen y definición de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo MOS, representa un sistema complejo, heterogéneo y dinámico; integrado por numerosos componentes.

Se define como la totalidad de sustancias orgánicas presentes en el suelo que proceden de: restos de plantas y animales, en diferentes estados de transformación, exudados radicales, aportes orgánicos externos - estiércol, compost; y productos xenobióticos, así como los organismos edáficos – biomasa del suelo y los productos resultantes de su senescencia y metabolismo. **(Labrador, 1996).**



La conservación de la MOS, en los sistemas de cultivo, tiene una sinergia con el modelo Agrario Sustentable, descrito por **Altieri (1992)**:

OBJETIVOS

Diversificación en el tiempo y el espacio	Equilibrio dinámico	Alta adaptabilidad	Sistemas biodiversificados	Conservación de los recursos naturales productivos	Sistemas mixtos	Potencial económico natural y material	Tecnología adaptada al sistema Agrario y social	Fuertes relaciones sociales
---	---------------------	--------------------	----------------------------	--	-----------------	--	---	-----------------------------

MODELO DE AGROSISTEMA SUSTENTABLE

PROCESOS AGRONOMICOS

Conservación del suelo y el agua	Incremento de la fertilidad global del suelo	Diversidad cultural	Protección de los cultivos	Incremento de la biodiversidad	Integración de Arbolado y ganado
----------------------------------	--	---------------------	----------------------------	--------------------------------	----------------------------------

ACTUACIONES DE MANEJO

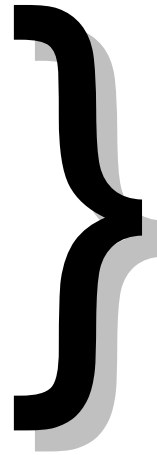
Policultivos	Abonos orgánicos	Cobertura vegetal adaptada	Potenciación de alelopáticas	Manejo eco compatible	Repoblación de especies autóctonas
Barbechos semillados	Compost	Rotaciones	Rotación y asociación	Conocimiento agronómico de interacciones y sinergismos	Creación de setos en agrosistemas
Rotaciones	Rotación de leguminosas	Zonificación	Aportes orgánicos	Disminución al mínimo o nula de biocidas sistémicos	Asociación de cultivos frutales
Aumento densidad	Uso de abonos verdes	Infraestructura vegetal	Mantenimiento de un suelo vivo	Diversidad espacial	Integración ganado - aprovechamiento
Mulching	Rotación y asociación de cultivos	Control selectivo de adventicias	Incremento de la biodiversidad	Mantenimiento de paisaje agrícola	
Mulching vivos	Rastrojos incorporados	Mosaico local / regional de cultivos	Potenciación de lucha biológica	Control cultural	
Mínimo Laboreo	Potenciación de rizogénesis		Diseño de cultivo adecuado		
Cultivos de cobertura	Mínimo aporte mineral o nulo según cultivo		Diversidad de bordes		
Gestión racional			Variación de fechas de siembra		
Cultivos en franjas			Cultivos trampa		
Terrazas de captación					
Siembras en curvas de nivel					
Cortavientos					

En los sistemas agrícolas, no existe tal estabilidad, el aporte de M.O, es discontinua y depende del ser humano. El estiércol, los residuos de cosecha, la paja incorporada, los abonos verdes, el compostaje y las diversas enmiendas orgánicas, cuando se producen sustituyen la hojarasca, siendo la descomposición activada por el enterramiento, el laboreo y el aporte simultáneo de abonos minerales.



Componentes básicos de la M.O fresca aportada al suelo:

- ✓ Proteínas
- ✓ Hidratos de carbono
- ✓ Lípidos
- ✓ Ácidos orgánicos complejos
- ✓ Etc.



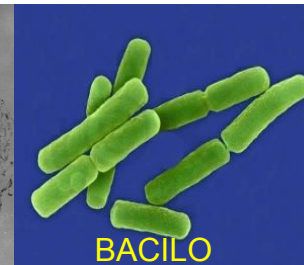
Síntesis de compuestos grandes y complejos a sencillos

Estos compuestos sufren una transformación por acción microbiana (mineralización), pasando a formas inorgánicas:

- ✓ Solubles { PO_4
 SO_4
 NO_3



RHIZOBIUM

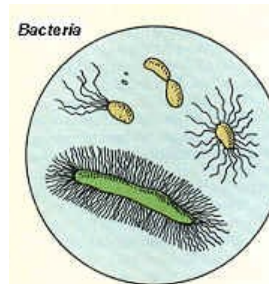


BACILO

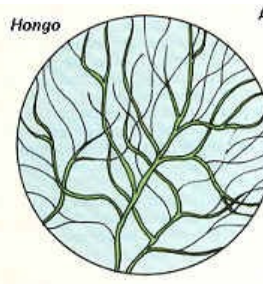


CIANOBACTERIA

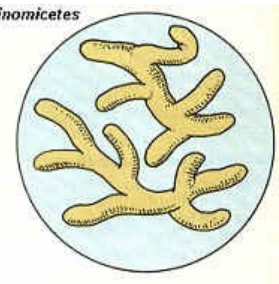
- ✓ Gaseosas { CO_2
 NH_4



Bacteria

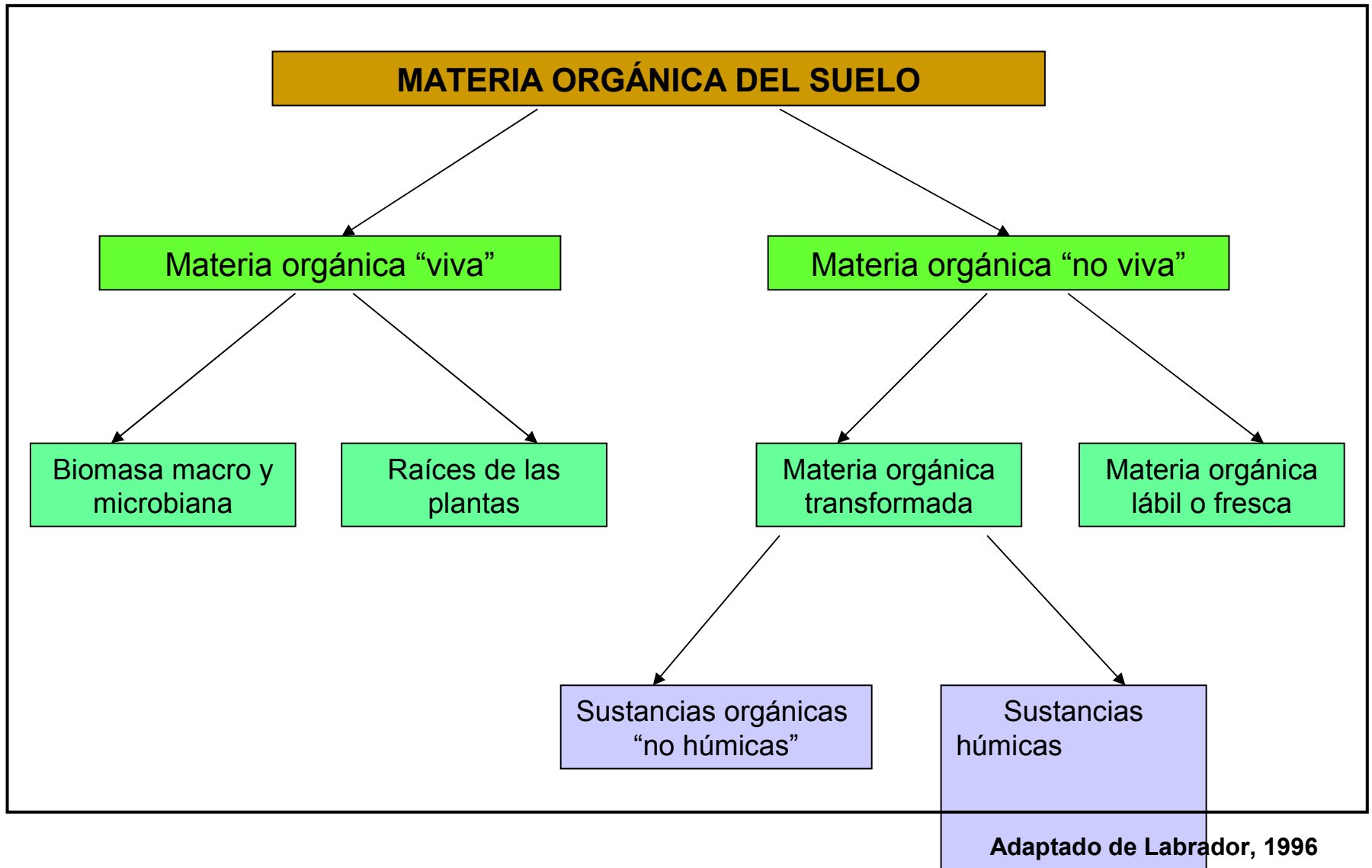


Hongo

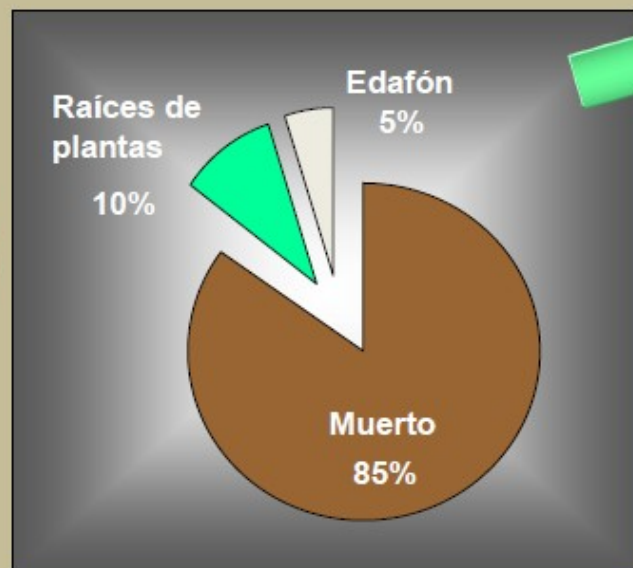
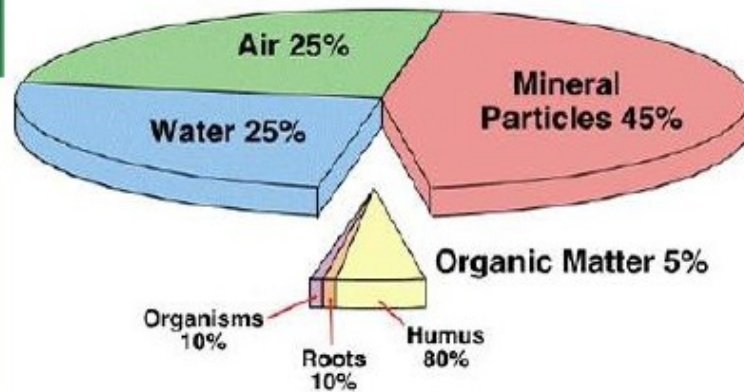


Actinomicetes

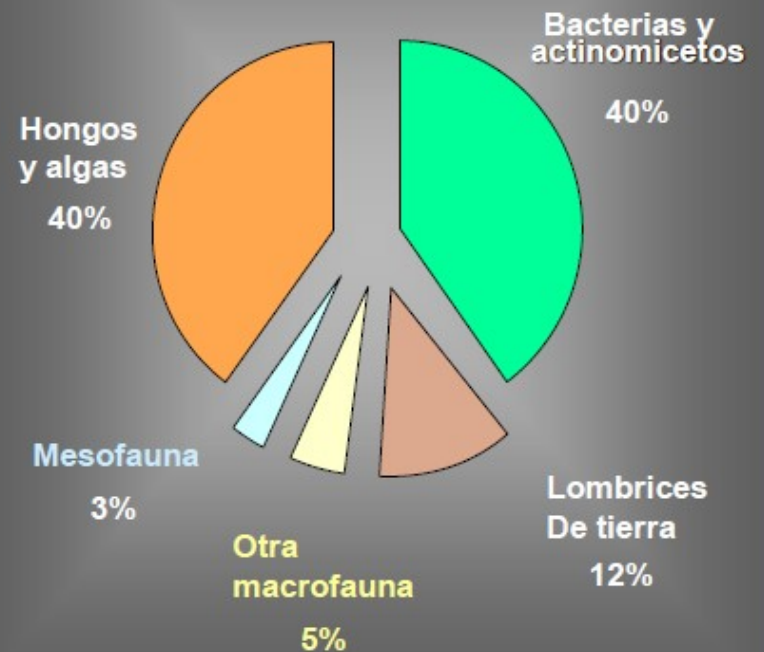
Fracciones constituyentes de la M.O del suelo:



Composición del suelo (% volumen)



FLORA Y FAUNA DEL SUELO



Las sustancias orgánicas no húmicas, son diversas y provienen de la descomposición de restos animales, vegetales y microbianos:

Componentes de las sustancias orgánicas no húmicas, por grupos químicos:

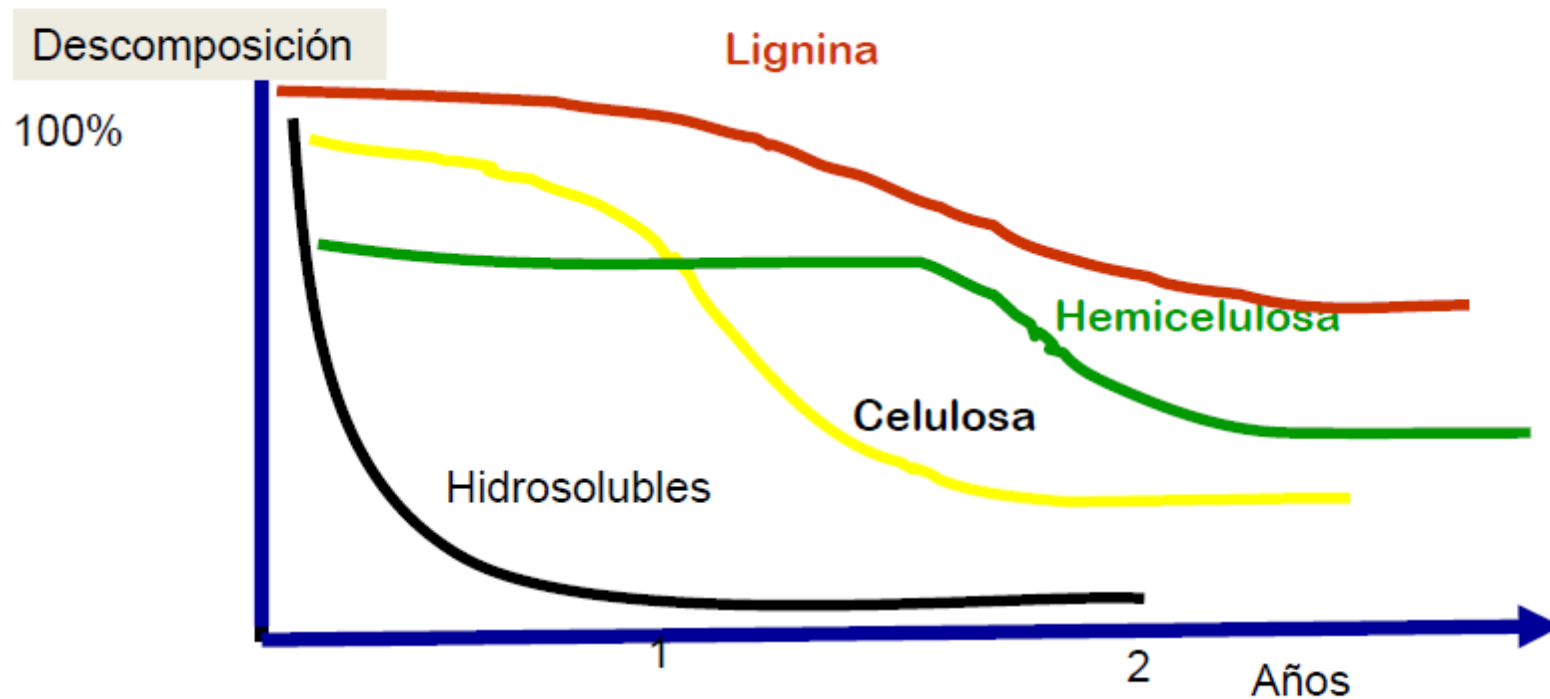
Carbohidratos	Monosacáridos: Pentosas, Hexosas
	Oligosacaridos: Sacarosa, Maltosa
	Polisacáridos: Arabanas, almidón, celulosa
Ligninas	Polímeros: derivados del Fenilpropano
Taninos	Complejos Fenólicos
Glucósidos	Compuestos Glucosa + Alcohol, Fenoles o Aldehídos
Ácidos Orgánicos, Sales y Esteres	Ácidos Oxálico, Cítrico, Málico, etc.

... Componentes de las sustancias orgánicas no húmicas, por grupos químicos:

Lípidos y Afines	Grasas y Aceites: <i>Esteres Glicéricos</i>
	Ceras: <i>Esteres No Glicéricos</i>
	Aceites esenciales: <i>Derivados del Terpeno</i>
Resinas	Ácidos resinicos
Compuestos Nitrogenados	Proteínas, Aminas y Bases Orgánicas
	Alcaloides
	Purinas, Pirimidinas, Ácidos Nucleicos
Pigmentos	Clorofilas, Carotenoides, Antocianinas
Compuestos Minerales	Aniones y Cationes

Adaptado de Labrador, 1996

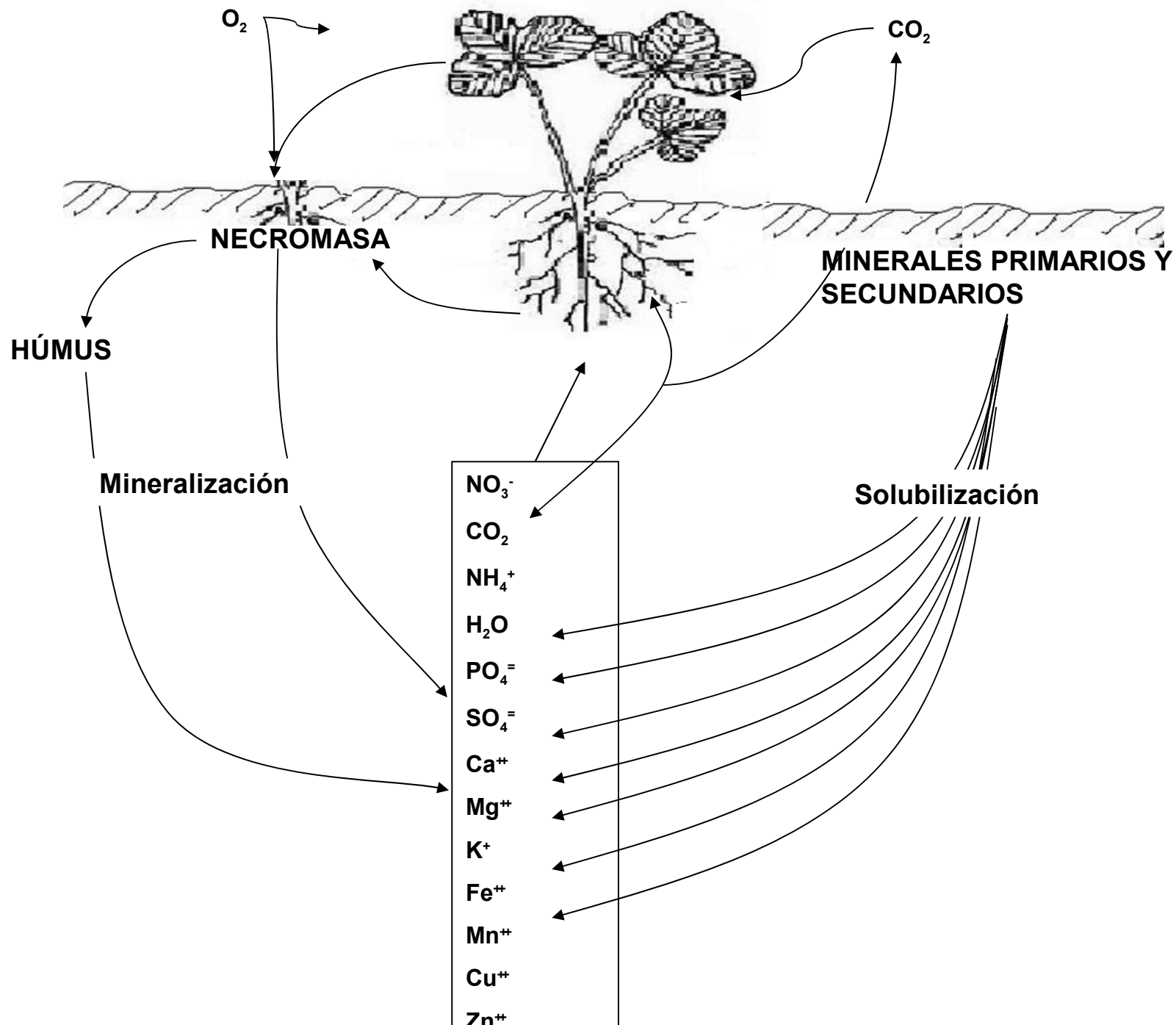
VELOCIDAD DE DESCOMPOSICION DE DIFERENTES FRACCIONES ORGANICAS DEL SUELO



HUMIFICACION:

DESCOMPOSICION DE LA M.O. POR HONGOS, BACETERIAS, ACTINOMICETOS LOMBRICES Y TERMITAS

- **Mineralización.-** Es la conversión de un elemento de su forma orgánica a la forma inorgánica, Ej:
 - ê Carbohidratos \longrightarrow CO_2 H_2O
 - ê Proteínas \longrightarrow NH_3
- **Inmovilización.-** Es el proceso inverso; la conversión de un elemento de forma inorgánica a orgánica, ejemplos:
 - ê Fijación de CO_2 en carbohidratos (fotosíntesis)
 - ê Inmovilización microbiana de nitrógeno



Sustancias Húmicas

Sustancias originadas de la descomposición de productos orgánicos transformados, de alto y bajo peso molecular; que involucran reacciones de oxidación, condensación y polimerización; dando lugar a compuestos de alto y bajo peso molecular que no se forman en las células vivas y que son constituyentes típicos del suelo.

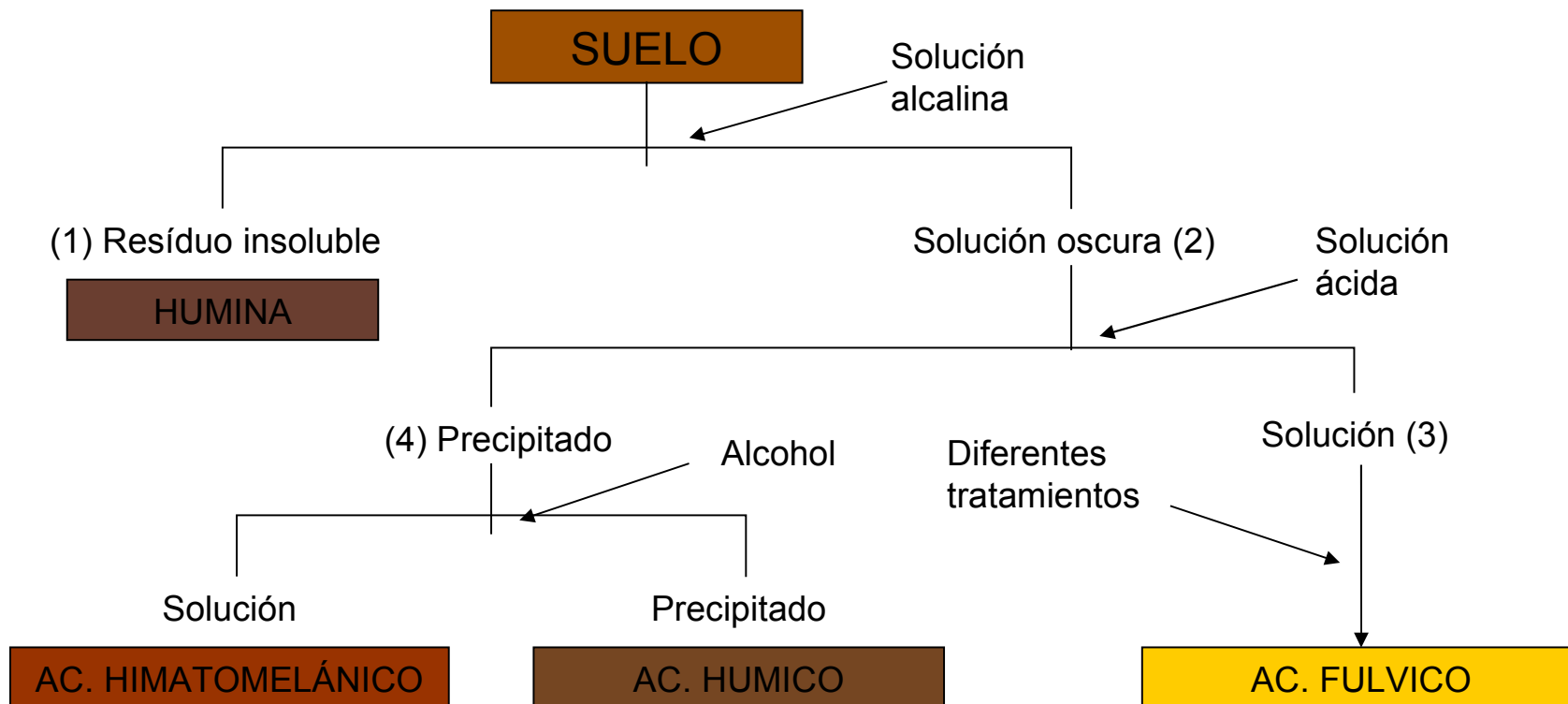
Características generales de las sustancias húmicas:

- ✓ Sustancias muy polimerizadas
- ✓ Peso molecular relativamente alto
- ✓ Color oscuro
- ✓ Buenas propiedades coloidales
- ✓ Presentan una alta CIC
- ✓ Se constituyen principalmente de compuestos aromáticos y alifáticos

Clasificación de las sustancias húmicas:

- ✓ Ácidos húmicos
- ✓ Ácidos fúlvicos
- ✓ Ácidos himatomelánicos
- ✓ Huminas. (Labrador, 1996).

Fraccionamiento de las sustancias húmicas por métodos analíticos



- (1) Humina + materia mineral + materia orgánica fresca
- (2) Fracción de ácidos húmicos + ácidos fulvicos
- (3) Fracción de ácidos fúlvicos + aminoácidos + azúcares sencillos
- (4) Fracción de ácidos húmicos

Adaptado de Labrador, 1996

Propiedades generales de las sustancias húmicas

Ácidos fúlvicos		Ácidos húmicos		Húminas
Amarillo claro	Amarillo pardo	Pardo oscuro	Gris oscuro	Negro



	grado de polimerización	
1000 g mol ⁻¹	peso molecular	10 ⁶
430 g kg ⁻¹	contenido de carbono	550
7 g kg ⁻¹	contenido de nitrógeno	46
510 g kg ⁻¹	contenido de oxígeno	340
1000 cmol _c kg ⁻¹	capacidad de intercambio catiónico	100

FRACCIONAMIENTO DE LA MOH



Factores que influyen en la transformación de la Materia orgánica en los suelos de cultivo

Los procesos de humificación y mineralización de los restos orgánicos, dependen tanto de la naturaleza de éstos, como de las características del medio, pero en general serán los factores que regulan la Actividad microbiana los que más influyen en la transformación de los residuos orgánicos añadidos al suelo, así como la dinámica de los compuestos orgánicos humidificadores. **(Labrador, 1996).**

Los factores más importantes son:

✓ *Naturaleza y estado de los residuos orgánicos:*

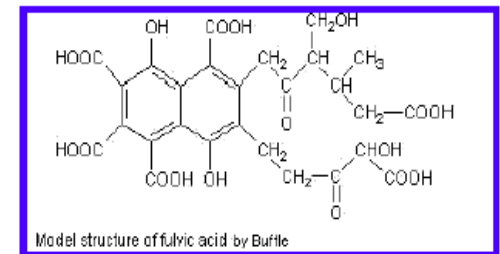
Este depende del tipo de compuestos del que está constituido el material y su biodegradabilidad. (Mayor contenido de lignina y taninos, será menos degradable).

Además de la relación C/N del material orgánico:

C/N < 25 (Favorece la mineralización)

C/N entre 30 a 50 (Favorece inmovilización).

C/N > 50 y un contenido alto de lípidos y lignina (Origina húmus poco evolucionado)



Relaciones C:N de algunos fuentes

Fuente o material	Relación C :N
Bacteria	5:1 a 7:1
Hongos	7:1 a 25:1
Nematodos	8:1 a 10:1
Paja de legumbres	20:1 a 60:1
Paja de trigo	100:1 a 200:1
Tallos de maíz	60:1 a 90:1
Estiércol descompuesto	25:1 a 30:1
Aserrín	250:1 a 400:1

✓ ***Organismos implicados en el proceso:***

Es primordial la población microbiana en los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica. Se encargan de descomponer, transformar a compuestos más simples y mineralizar los constituyentes de los restos orgánicos, además de resintetizar sustancias a través de su metabolismo como aminoácidos, proteínas, aminoazúcares, etc.

También los macroorganismos actúan en la degradación de la materia orgánica, básicamente fragmentando residuos orgánicos y mezclándolos con los elementos minerales del suelo, así como de inocular éstos residuos con colonias microbianas presentes en sus intestinos.



✓ **El clima:**

El clima interviene de forma determinante sobre la génesis del suelo, sobre el desarrollo de la vegetación y sobre la actividad de los organismos edáficos. La humedad y temperatura son factores prioritarios en la transformación de la materia orgánica. A igualdad de condiciones, los suelos de las zonas más cálidas contienen menos materia orgánica que los suelos de las zonas frías (**Jenkinson, 1992**).

Temperaturas entre 20 y 25°C son adecuadas para un buen desarrollo de la mayor parte de los hongos, mientras que las bacterias alcanzan su ideal entre 30 y 50°C. (**Fassbender, 1972**).

Clima	Interpretación del % de M.O		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	< 5	5 – 10	>10
Templado	< 3	3 – 5	>5
Cálido	< 2	2 - 3	>3

Adaptado de Labrador, 1996

✓ **El pH del suelo:**

Ejerce sobre la humificación una acción directa en cantidad y calidad del húmus, afectando además a la naturaleza de la población vegetal que sustenta el suelo y por lo tanto, a la descomposición del material orgánico que va a ser luego transformado.

Un pH excesivamente bajo, menor a 5; ralentiza la actividad biológica, y en consecuencia, disminuye el ritmo de transformación y mineralización de la materia orgánica; y un pH mayor de 8,5 también altera negativamente estos procesos por la acumulación de sales y sodio en niveles tóxicos.



pH	Grupo textural	Diagnóstico en % de M.O del suelo en función de textura y pH				
		Muy pobre	Pobre	Correcto	Rico	Excesivo
<5.8 (1)	Cualquiera	< 0.2	2.0 – 2.5	2.5 – 3.0	3.0 – 3.5	> 3.5
5.8 – 8.3	Arenoso	< 0.8	0.8 – 1.2	1.2 – 1.5	1.5 – 2.0	>2.0
	Medio	< 1.2	1.2 – 1.8	1.8 – 2.3	2.3 – 3.0	>3.0
	Arcilloso	< 2.0	2.0 – 2.5	2.5 – 3.0	3.0 – 3.5	>3.5
> 8.3	Cualquiera	Pueden hallarse valores anormalmente altos de materia orgánica, debido a la ralentización de la biomasa edáfica.				

(1) Suelos con una reducida actividad biológica debido al bajo pH.

Fuente: Stevenson, 1982

✓ ***Presencia de sustancias inhibidoras:***

La capacidad de sintetizar metabolitos tóxicos por algunos microorganismos del suelo, como determinados antibióticos, pueden afectar a los restantes miembros de la población microbiana que compiten por el alimento y por el oxígeno.

Los exudados radicales de ciertos vegetales actúan sobre determinados grupos de microorganismos favoreciendo o inhibiendo su acción, por ejemplo; algunas taninos hidrosolubles han demostrado su carácter inhibidor del proceso de humificación, así como de la actividad de algunas bacterias nitrificantes y fijadoras de Nitrógeno.

✓ ***Actividad Humana:***

Las repercusiones de las actividades humanas, en la transformación de la materia orgánica, son siempre importantes en uno u otro sentido, bien sea directamente con la puesta en cultivo o indirectamente por su acción sobre la vegetación natural existente.

Positivo:

Utilización de abonos verdes, incorporación de materiales orgánicos compostados y rotación de cultivos.

Negativo:

Desequilibrio por la exportación de los residuos de las cosechas, incorporación de fertilizantes minerales para compensar las pérdidas de fertilidad, destrucción de la estructura del suelo y compactación por uso de maquinaria agrícola y el uso indiscriminado de herbicidas para dejar el suelo bajo cultivos al desnudo.

Propiedades generales del húmus y sus efectos en el suelo



<i>Propiedad</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Efectos en el Suelo</i>
Color	Oscuro, típico de suelos ricos en M. O.	Facilita el Calentamiento
Retención de Agua	M. O. Retiene hasta 20 veces su peso	Evita la desecación y la contracción, mejora la retención de la Humedad en suelos Arenosos
Combinación con Minerales Arcillosos	mejora las estabilidad de los agregados	Permite el intercambio de gases, estabiliza la estructura, incrementa la permeabilidad
Quelación	Forma complejos estables de Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y otros Polivalentes	Amortigua el aprovechamiento de elementos trazas por las plantas

... Propiedades generales del h mus y sus efectos en el suelo

Propiedad	Observaciones	Efectos en el Suelo
Solubilidad en Agua	La insolubilidad de la M. O. se debe a la asociación parcial con Arcillas, sales de cationes divalentes y trivalentes. La M. O. sola es parcialmente soluble	La M. O. S. en pequeñas cantidades se pierde por lixiviación
Relaciones con el pH	La M. O. S. Amortigua el pH entre los limites. Acido, Neutro y Alcalino	Mantiene una reacción uniforme del pH del suelo
Intercambio Cationico	La Acidez de las fracciones aisladas de humus varia entre 3000 a 14000 mmoles /Kg ⁻¹	Incrementa la C.I.C. del 20 al 70%
Mineralización	La Descomposición de la M. O. S. produce CO ₂ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻	Fuente de elemento nutritivos para el crecimiento de la planta
Combinación con Moléculas Orgánicas	Influye en la Bioactividad, persistencia y Biodegradabilidad de los plaguicidas	Modifica la relación de aplicación de plaguicidas para un control efectivo

Balance de la Materia orgánica en los Agrosistemas

La cantidad de materia orgánica que contiene el suelo en un momento dado será, en términos cuantitativos, la diferencia entre la biomasa total recibida y la suma de la biomasa mineralizada de forma rápida o materia orgánica lábil, constituida por materia orgánica fresca, productos intermedios y microorganismos, y el húmus mineralizado de forma lenta o materia orgánica estable.

Entonces, si consideramos un balance de materia y energía; las ganancias de M.O del suelo se dará a partir del proceso de humificación y las pérdidas a través de la mineralización y pérdida del carbono a la atmósfera.



Adaptado de Labrador, 1996

Ganancias:

Se deben a la cantidad de húmus generado, a partir de los residuos vegetales de los cultivos y el que proviene de las incorporaciones de abonos orgánicos, los cuáles van a estar cuantificados por el coeficiente isohúmico K_1 , que expresa el rendimiento potencial en húmus de la materia seca del material orgánico aportado.

$$MO_{\text{humificada}} = K_1 \times MO_{\text{aportada}}$$

Según **Monnier (1989)**, el K_1 depende de las características de la materia orgánica aportada: cuanto más rica en lignina es, más húmus se produce, y cuantos más azúcares, celulosa y compuestos nitrogenados posee más rápidamente se mineraliza y menos húmus genera; aunque también las características del suelo también influyen como el caso de altos contenidos de caliza activa que retarda el proceso.

Valores del coeficiente isohúmico (K_1), Henin.

K_1 (Gross)	K_1 (Henin)
Estiércol muy maduro0.40 a 0.50	Estiércol maduro0.50
Paja.....0.10 a 0.20	Estiércol pajoso0.20 a 0.40
Restos secos de cosecha0.10 a 0.20	Restos verdes pajosos0.08 a 0.15
Restos verdes de cosecha.....0.20 a 0.30	

Debido que el coeficiente isohúmico está definido como la constante de transformación de la materia orgánica seca aportada, es común encontrar el cálculo sobre el contenido de materia seca, permitiendo obtener de forma aproximada su equivalente en húmus, a partir de la siguiente ecuación:

$$H = r.o \times m.s/100 \times K_1$$

Donde:

H: es la cantidad de húmus generados por los residuos, en kg.

r.o = residuos orgánicos en kg.ha⁻¹

m.s= materia seca de los residuos

K_1 = Coeficientes isohúmico específico

Por ejemplo, un aporte de una tonelada de estiércol bien descompuesto, que contiene un 20% de materia seca y con un coeficiente isohúmico de 0.5, proporcionaría:

$$1.000 \text{ kg} \times 0.2 \times 0.5 = 100 \text{ kg de h mus}$$

Cantidad de humus generado por los restos de diversos cultivos, según **Gross (1986)**:

Cultivo	H�mus aportado en kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹
R�ices, rastrojos de trigo (sin paja)	400 a 800
Otros cereales (paja excluida)	300 a 500
Maíz (ra�ices y rastrojos)	500 a 1000
Maíz (ra�ices, rastrojos y cañas)	700 a 1400
Remolacha (hojas y cuello)	1500 a 2600
Colza (ra�ices, paja y silicuas)	800 a 1300
Alfalfa (enterrando último corte)	1500 a 4000
Pradera temporal (según duración)	1000 a 3000
Abonos verdes	40
Paja enterrada	100 a 200

Pérdidas:

Las recomendaciones agronómicas para el mantenimiento y corrección de los niveles de materia orgánica de un suelo de cultivo suelen basarse preferentemente en la estimación de sus pérdidas por mineralización.

Al igual que los procesos de humificación, la materia orgánica que se mineraliza en un año es proporcional al contenido de materia orgánica del suelo, por lo que:

$$MO_{\text{mineralizada}} = K_2 \times MO_{\text{inicial}}$$

A la tasa de transformación se la denomina “coeficiente de destrucción anual de humus estable K_2 ” ó coeficiente de mineralización. Este depende más de las condiciones climáticas y de las características propias del suelo; como el pH, temperatura, aireación, humedad, etc.

Zona	Humedad	K_2
Andalucía occidental y sur de Extremadura	Secano	0.020 a 0.022
	Regadío	0.030
Andalucía Oriental	Secano	0.010 a 0.011
	Regadío	0.030
Castilla	Secano	0.008
	Regadío	0.020
Meseta Norte Galicia	Secano	0.005 a 0.0015
	Regadío	0.02

Coeficientes K_2 para algunas regiones Españolas. Fuente: Labrador, 1996

Así mismo **Urbano (1988)**, ratificó la expresión para perdidas de materia orgánica por mineralización:

$$P = m.o \times v.m = \text{Área} \times p \times d.a \times m.o \times v.m$$

Donde:

P: perdida de materia orgánica

p: profundidad de la muestra en cm

d.a: densidad aparente del suelo en t.m⁻³

m.o: porcentaje de materia orgánica del suelo

v.m: velocidad de mineralización de la m.o (% anual)

Un suelo contiene 2% de m.o. Su densidad aparente es de 1.5 t.m⁻³ y un espesor en el horizonte cultivado de 20 cm. La cantidad de m.o en el suelo será:

$$10000 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ t.m}^{-3} \times 0.2 \text{ m} = 3.000 \text{ t (peso de una ha)}$$

$$3.000 \text{ t} \times 0.02 = 60 \text{ t de m.o.ha}^{-1}$$

Tomando un coeficiente de destrucción de m.o, K₂ de 1%, tenemos:

$$60 \text{ t.ha}^{-1} \times 0.01 = 0.6 \text{ t ó } 600 \text{ kg de húmus.ha}^{-1} \text{ se pierden anualmente}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ Altieri, M.A. (1992). Agroecología y manejo de plagas. División de control biológico. Universidad de California, Berkeley.
- ✓ Fassbender, H.M. (1996). Química del suelo. Ed turrialba. Costa Rica, pp. 66 – 109.
- ✓ Gross, A. (1986). Abonos. Guía practica de la fertilización. Ed Mundi – prensa. Pp. 141 – 169.
- ✓ Henin, S; Grass, R y Monnier, G. (1972). El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi – prensa, pp. 279 – 312.
- ✓ Jenkinson, D.S. (1992). La materia orgánica del suelo: Evolución. En : condiciones del suelo y desarrollo de las plantas, según Russell. Ed. Alan Wild. Mundi prensa.
- ✓ Labrador J. (1996). La materia orgánica en los Agrosistemas. 2 da edición. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Pp. 11 – 135. España.
- ✓ Monnier, G. (1989). Le statut organique des sols: Indicateur et facteur de fertlité. Cultivar, 254: 20-21.
- ✓ Porta, J; López Acevedo, M; Roquero C.(1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi prensa, pp. 167 – 202.
- ✓ Saña, J; Moré J.C; Cols, A. (1996). La gestión de la fertilidad de los suelos. Pp 277. MAPA. Madrid.
- ✓ Skjemstad, J.O; Janik, L; Tylor A. (1998). Non living soil organic matter; What do we know about it?. Australian journal of experimental agriculture, pp. 667 – 680.
- ✓ Stevenson F.J.(1982). Humus chemistry: génesis, composition, reactions. Wiley interscience, New York.
- ✓ Urbano Terrón, P. (1988). Tratado de fitotecnia general, pp. 345 – 388. Ed. Mundi prensa.